

双体船的总体性能设计

宋国华

许多国家对双体的研究设计和建造做了不少工作,都是从某条船或几条船的试验中取得数据,跟单体船浩如大海的船模和实船数据相比,双体船的研究设计只是沧海一滴水。

双体船的性能比单体船复杂,本文所述的内容只是将已发表的双体船资料加以整理、结合我们的船模和实船情况,进行定性分析,所提供的数据范围都有前提的,仅供参考。

双体船分为常规双体船和特种双体船。前者属水面排水型或水面半滑行型,后者属高性能水动力型,本节所述限于常规双体船型。

1 双体船的性能特点

1.1 甲板面积大

双体船单位排水量甲板面积比单体船大50%,如果考虑到双体船可以有效地增加上层建筑层次,上述比例可达100%,而不用担心稳性不够。对需要足够甲板面积和追求多层次上层建筑的客船、游览船、渡船来讲,双体船具有独特的优越性。^{[1][2]}

双体船连接桥增加了大量甲板面积,但亦带来了钢料重量明显增加,因此,双体船不宜于要求载货能力大的货船和冷藏船。

1.2 兴波小

双体船将片体宽度做得很瘦削, $L/b=8\sim 15$,甚至达22。当 $F_n>0.3$ 时, L/b 大者,对降低兴波阻力和减少船波具有明显效果。当选择的主尺度范围使双体船处于低兴波状态的所谓有利干扰区,双体船的快速性能明显优于相同排水量的单体船。尤其是当高速单体船掀起巨大船波,严重危害内河道中过往小船及冲刷两岸河堤时,内河双体船成了人们期望发展的船型。^[3]

1.3 稳性好

它又是双体船显著突出的特点。双体船有两个分开的片体组成,使水线面的横向惯性矩大大增加,所以复原力矩很大,稳性极好,稳性储备比单体船大

2~4倍。

现提供两个近似公式,在初步设计中校核稳性^[4]

$$\text{浮心距基线高度 } KB = \frac{C_w}{C_w + C_b} \cdot T$$

$$\text{横稳心高度 } BM = \frac{b^2}{T \cdot C_b} \cdot C_w \left[\frac{1}{4} \left(\frac{k}{b} \right)^2 + 0.06 \right]$$

式中 C_w 、 C_b —片体水线面系数和方形系数

b 、 T —片体水线宽度和吃水 (m)

K —双体船的片体间距 (m)

或参考文献^[9]

一个片体实际水线面积 $S = 0.793 L b$ (m²)

一个片体水线面自身惯性矩

$$I_x = \frac{D_c}{2Y} \cdot \frac{C_w^2 \cdot b^2}{11.4 C_b T} \quad (\text{m}^4)$$

双体船重心高度 $Z_g = H$ (m)

双体船的浮心位置

$$Z_c = \frac{1}{1 + \frac{C_b}{C_w}} \cdot T \quad (\text{m})$$

双体船的初稳性高度

$$GM = \frac{2Y(I_x + \left(\frac{k}{2}\right)^2 \cdot s)}{D_c} + Z_c - Z_g \quad (\text{m})$$

式中 D_c —双体船的排水量 (t)

H —型深 (m)

Y —海水比重 (t/m³)

双体船液舱自由液面修正

$$\Delta GM = \frac{1}{V_c} \left\{ \sum_1^n \left[(i_x + \left(\frac{K}{2}\right)^2 \cdot S_x) \cdot \frac{Y_x}{Y} \right] \right\}$$

式中 V_c —给定吃水下双体船排水体积 (m³)

n —液舱数目

I_x —液舱自由液面 S_x 对此纵轴的自身惯性矩 (m⁴)

S_x —液舱自由液面 (m²)

Y_x —液舱内液体密度 (t/m³)

Y —船舷外水密度 (t/m³)

1.4 操纵性好

双体船的两个片体保证它有良好的航向稳定性,即使单机航行,仍然在很小舵角下保持直线航行.两个片体造成两个桨之间和两个舵之间的间距大,使双体船获得很好操纵性.当一车正一车倒时,船能原地回转或作侧向移动。

航向稳定性和迴转性跟双体船片体间距在正常范围内变化几乎没有影响。^[20]

双体船迴转直径要比相同尺度和相同排水量的单体船大,漂角要小,进程要大,担抗飘能力强.双体船片体间距加大会使进程变大。

1.5 横摇周期短

双体船固有横摇周期很短,一般在6 s 以下,称之为“急摇”。在横摇时舷边产生较大的横摇加速度,平均约为0.25 g。

双体船的横摇周期容易接近纵摇周期,形成“扭摇”,即为“对角线”摇摆。

双体船的“急摇”和“扭摇”使乘员很不舒服。因此,内河双体客船颇受旅客欢迎,而海上双体客船多受旅客批评.至于目前国内蔽遮海域使用的高速双体客船,因为它的动力性能已不同于常规排水型双体船,在风浪中升沉是它主要运动,加之航行时间短,航区的浪亦小,因而在蔽遮海域获得一定发展。

引入的5份模型和实船试验资料表明,双体船在大风浪中的耐波性并不亚于单体船^{[5][6]}。因此,用于海洋调查、围网捕鱼和海洋勘探等工作的海洋双体船,仍然有它的一席之地。

苏联双体围网渔船“实验”号^[23]大西洋上实测记录如下表1。

实船主尺度 $L_{OA} \times B \times D = 39.7 \text{ m} \times 19.08 \text{ m} \times 950 \text{ t}$ $L/B = 1.961$ $L/b = 5.12$ $b/T = 1.79$ $K/b = 1.61$ 。

表 1

舷边加速度 α	航向角 θ				
	180°	120°	90°	60°	0°
6级海浪8.6 kn 航速时 α 平均	0.14g	0.11g	0.17g	0.07g	0.07g
α 最大	0.4g	0.35g	0.5g	0.25g	0.2g

舷边加速度 α	海浪		
	5	6	7
横浪 $\theta = 90^\circ V = 8.6 \text{ kn}$ 时 α 平均	0.07g	0.17g	0.12g
α 最大**	0.24g	0.5g	0.36g
平均横摇角	2.7°	3.3°	3.7°
横摇角*	8.4°	9.6°	7~12°

航速(kn)	0	3.8	8.6
5级海况横浪下的平均摇角	2.5°	3.2°	2.7°
平均横摇周期(s)	5.6	5.8	5
α 平均	0.09g	0.07g	0.07g
α 最大	0.26g	0.2g	0.24g

* 每小时仅出现5~6次,7级海浪及以上的横摇角仅是推算,实际上均未超过波倾角。

** 出现次数少,时间短,船员对此加速度反应不敏感,甚至没有反应。

同时测试的海上救助拖船(功率588 kW,排水量880 t),平均横摇角达18°~20°;谐摇时达27°~30°。

中国船舶及海洋工程设计研究院双体船模型摇摆试验^[7]结果见表2.双体船横摇自摇周期随间距比 k/b 增大而略有减小, k/b 愈大,如 $k/b > 2.5$ 时,不仅横摇角大大下降,而且舷边加速度接近于单体船,这点尤为人们注意。

表 2

	L (m)	B (m)	b (m)	D (t)	k/b	谐摇时 q_m	谐摇时 a_m
双体船	45	16.5	5.5	2×511	2	15°	0.355 g
单体船	45		5.5	1023		30°	0.26 g
k/b				1.5	2	2.5	3.0
静水自由横摇周期 T_q (s)				1.24	1.16	1.12	1.1
谐摇时最大横摇角 θ_m				21°	15°	11°	8°
舷边加速度 a_m				0.37 g	0.355g	0.31g	0.25 g
a_m/a 单体船				1.432	1.365	1.2	~1
θ_m/a 单体船				0.7	0.5	0.37	0.27

申温线1 500客双体船的耐波性试验结果见表3。

实船主尺度 $L \times B \times H \times \Delta = 93.67 \text{ m} \times 26 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3\,775 \text{ t}$

表 3

浪向		浪高(m)	纵摇角	升沉(m)	艏加速度	舯部加速度
180°	平均值	2.0	2.25°	0.58	0.22g	0.13g
	有效值	3.0	3.9°	1.19	0.39g	0.23g
浪向		浪高(m)	横摇角	升沉(m)	艏加速度	舯部加速度
90°	平均值	2.0	9.2°	0.75	0.06g	0.17g
	有效值	3.0	13.5°	1.24	0.1g	0.25g

高速双体船适航性研究表明^[5],高速时的横摇角和横摇加速度分别比低速时缓和3~3.5倍和2~2.5倍;高速时双体船纵摇角和纵摇加速度超过相同参数的单体船.图1是常规单体船和双体船横摇和纵

摇3%保证率的角度摆幅。

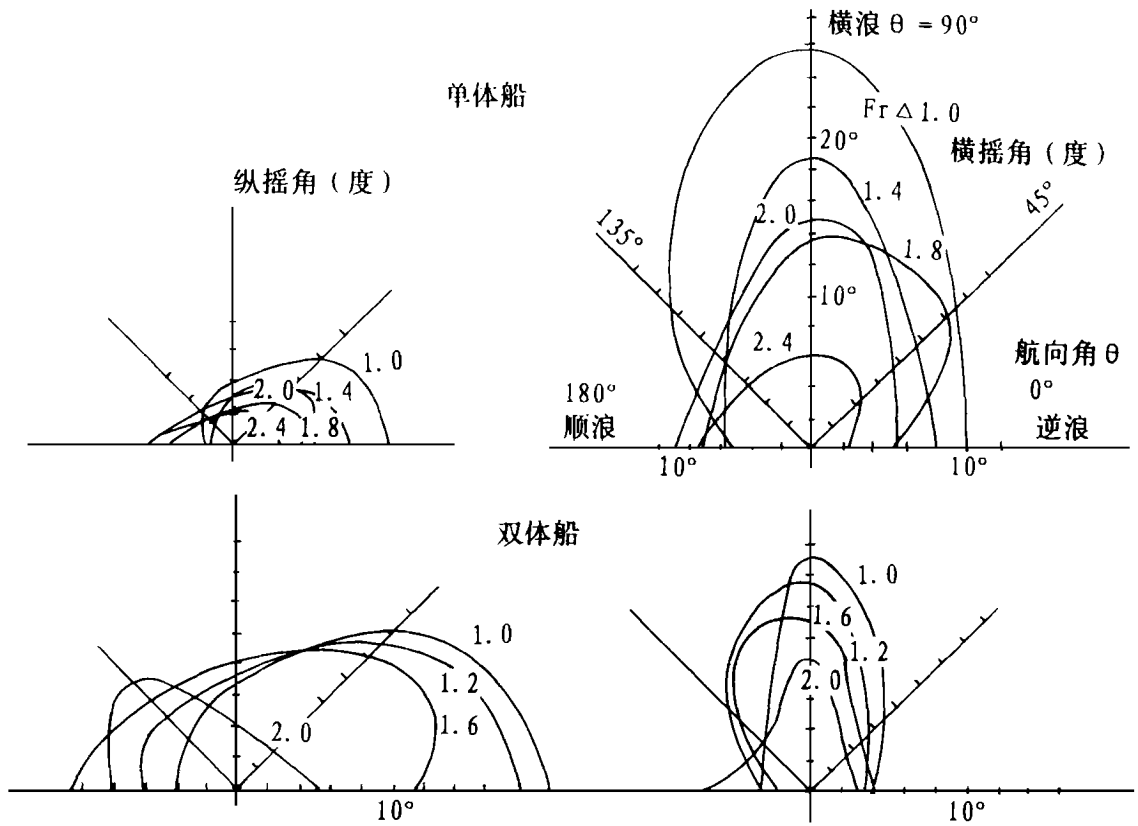


图1 单体船和双体模型横摇纵摇3%保证率的角度摆幅

排水体积佛氏数 $Fr = \frac{V}{g^{1/3}}$

参考文献[5]介绍的船模试验结果见表4。

波浪(波长×波高) = 36.6 m × 2.44 m

表 4

	L(m)	B(m)	b(m)	D(t)	k/b	5级海况下θ	5级海况下a
海洋调查双体船	40.4	7.6	2.53	2×254	2	10°	0.25 g
海洋调查单体船	40.4		5.06	508		45°	0.25 g

双体船的横摇特点是:

- (1) 当波长等于片体间距时,双体船的两个片体始终同时处在波峰、波谷或者其他波浪斜率相同的位置,这时双体船只会作升沉运动而不产生横摇。
- 当波长等于2~3倍片体间距时,一个片体处于波峰,另一个片体处于波谷,这时双体船横摇最激烈。我国沿海多此海况,故旅客对沿海双体船持批评态度。

(2) 双体船在大风浪中将如小木筏随波面运动,这时双体船最大横摇角等于最大波面斜度180h/λ(h/λ为波浪的坡度比)。如长波的λh=20,则双

- 体船最大横摇角 9°(单幅)。
- (3) 双体船横摇阻尼系数比单体船大4~7倍,双体船横摇衰减有力。如果遇到强浪,双体船将很快地从横摇中恢复原状(单体船还将继续摇摆,会与第二个强浪来时叠加,情况危险)。
- 由此可见,在大风浪中双体船的横摇程度比单体船好。
- 上述资料,从适航性角度对选择双体船主尺度提供依据。
- (1) 双体船片体间距比增大到一定程度,不仅横摇角大大下降,舷边加速度反向单体船接近。因此,选择双体船宽度B时,不必担心舷边加速度与船宽之间的矛盾。
- (2) 必须阻止双体船横摇周期和纵摇周期接近,以防形成人们难以承受的“扭摇”,即对角线摇摆。若双体船的L/B>3,并在片体上设置舳龙骨来延长横摇周期,可以减缓或防止扭摇。
- (3) 由于双体船片体瘦削,升沉和纵摇均比单体船大。为防止波浪对连接桥的迫击,必须适当抬高连接桥距水面高度,并将连接桥首部向后移。

1.6 不沉性

双体船破损时极大多数为不对称破损, 甲板边缘入水角及破损横倾角较难满足 SOLAS 客船规范要求。因此, 在双体船总布置时, 应缩短片体内舱室长度, 尤其应尽可能缩短机舱长度; 进入片体内的主甲板上开口尽可能靠中, 门槛和舱口围板高度要适当提高; 片体内力求不设置旅客舱; 适当提高干舷以及采取必要的扶正措施。^[9]

在方案初始阶段, 采用下述图谱估算双体船的不沉性。

- 符号说明: a 片体纵中剖面至双体船纵中剖面的距离 (m)
 B_1 片体宽 (m)
 d 破损前的平均吃水 (m)
 C_B 片体方形系数
 D 型深 (m)
 KG 重心高度 (m)
 l 破损舱舱长
 X 破损舱舱长中点至船舳的距离 (m)
 L 船长 (m)
 μ 破损舱的渗透率

计算步骤:

(1) 参数

$$\theta_d = f(X/L, \mu l/L) \quad \theta_d \cdot \frac{a}{B_1}$$

$$dd = f(x/L, \mu l/L) \quad dd/d$$

$$\varphi_d = f(x/L, \mu l/L) \quad \varphi_d$$

分别由图2、图3、图4求得。

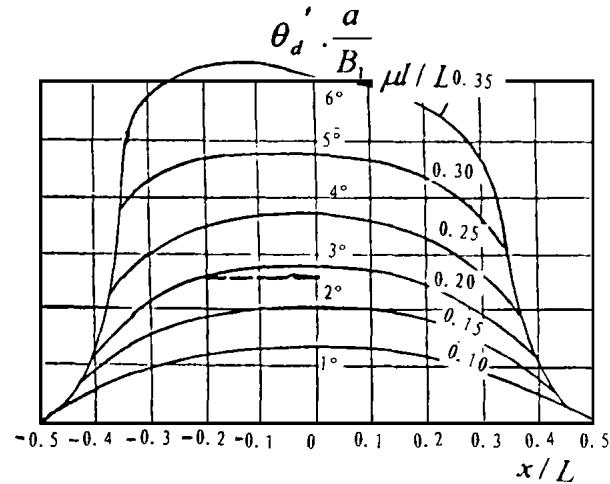


图2 破损横倾角和破损舱长度, 它沿船长的位置、渗透系数和相应间距大小的关系

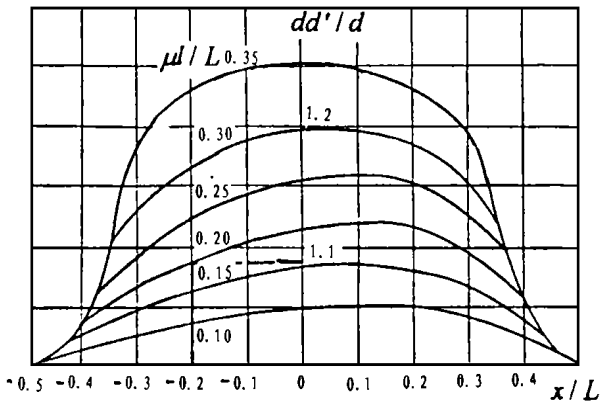


图3 平均破损吃水和破损舱长度, 它沿船长的位置和渗透系数的关系

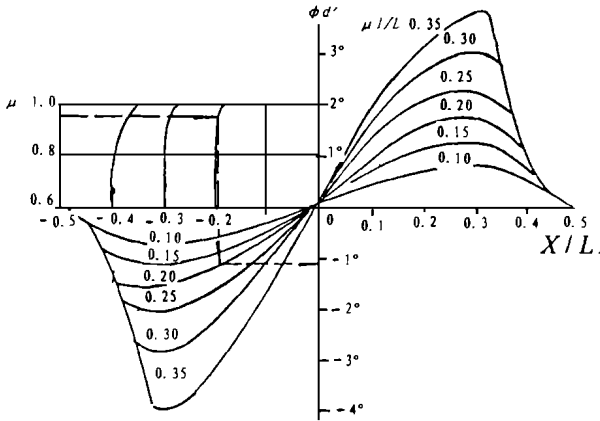


图4 破损纵倾角与破损舱长度, 它沿船长的位置和渗透系数的关系

- (2) 修正系数 $K_{10} = f(C_B, |X|/L)$
 $K_d = f(C_B, |X|/L)$
 $K_{\varphi} = f(C_B, |X|/L)$
 $K_{30} = f(\frac{KG}{a}, \mu l/L)$

分别由图5、图6求得。

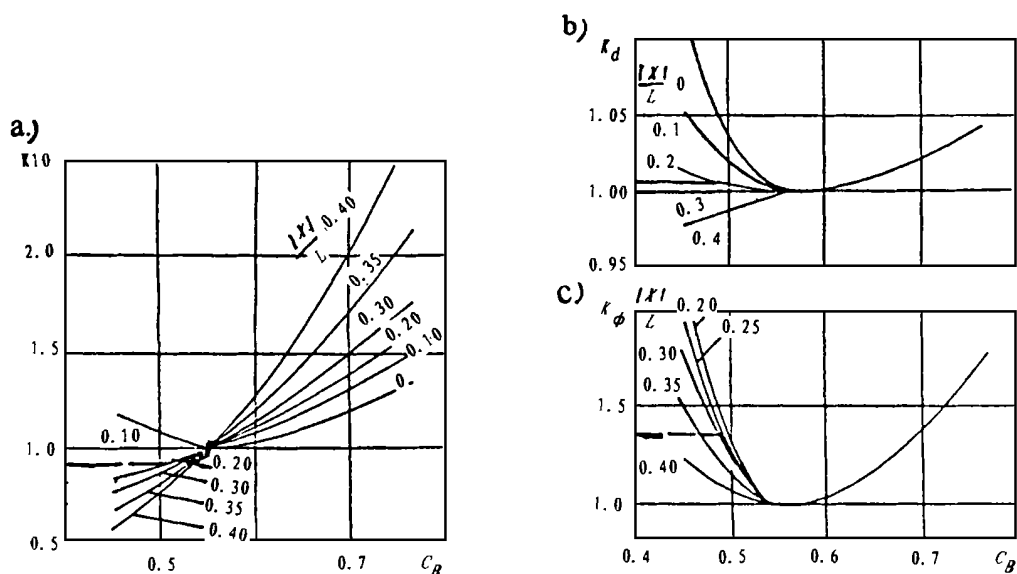
(3) 破损最终状态

破损后横倾角 $\theta_l = K_{10} \times K_{20} \times K_{30} \times \theta_d$

破损后的吃水 $d_d = K_d \times (dd/d) \times d$

破损后的纵倾角 $\varphi_l = K_{\varphi} \times \varphi_d$

其中 $K_{20} = 0.25(\frac{B_1}{d})^2 - 1.6\frac{B_1}{d} + 3.3$



a) 对破损横倾角; b) 对平均吃水; c) 对破损纵倾角
图5 方形系数对诸系数 (k_{16} 、 k_d 、 k_ϕ) 的影响

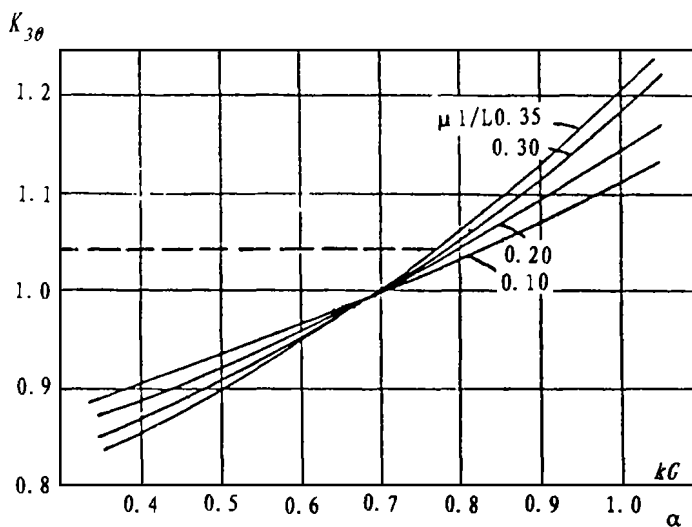


图6 双体船重心高度对破损横倾角大小的影响

1.7 统计双体船的使用航速范围,图7 (a)、(b)可供参考^{[1]、[10]}。

2 双体船主尺度系数的选择

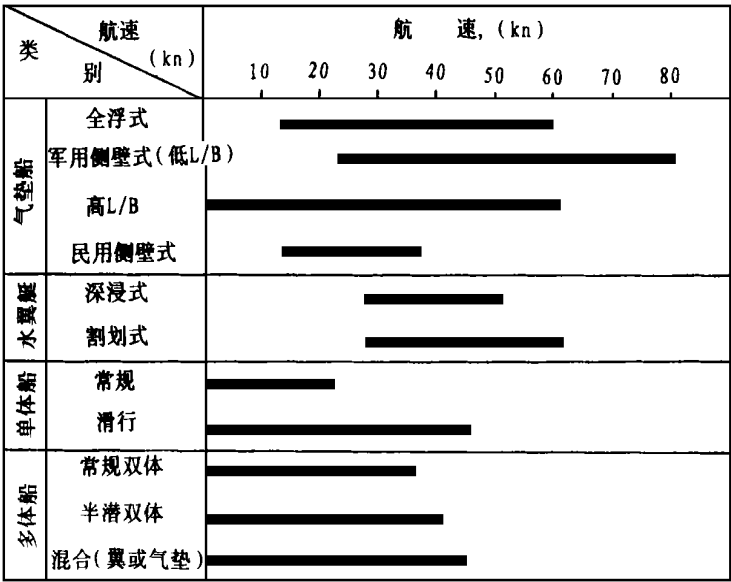
双体船阻力可简化为片体阻力和片体间干扰阻力两部份。

双体船主尺度系数和线型对片体阻力的影响,

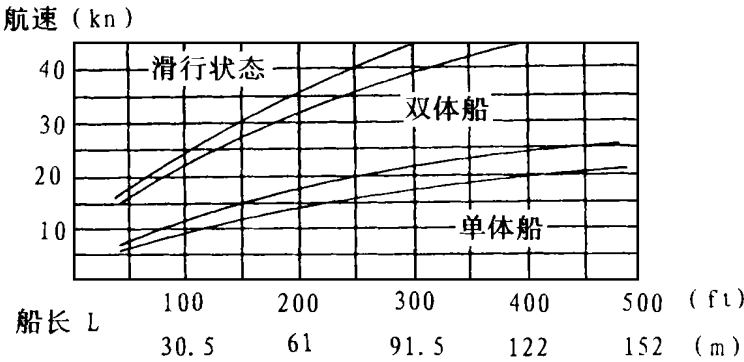
具有单体船的性质,只是片体的 L/b 或 $L/\Delta^{1/3}$ 远比单体船要大。因此,在运用单体船试验资料和公式时必须注意这一点。

双体船主尺度系数和线型对干扰阻力的影响,具有双体船的性质, k/b 和 C_p 主要影响干扰阻力。当 k/b 、 C_p 和 F_n 配合恰当,可获得最小干扰阻力,甚至出现负的干扰阻力。

图8为双体船主尺度示意



(a)



(b)

图7 双体船有利航速区

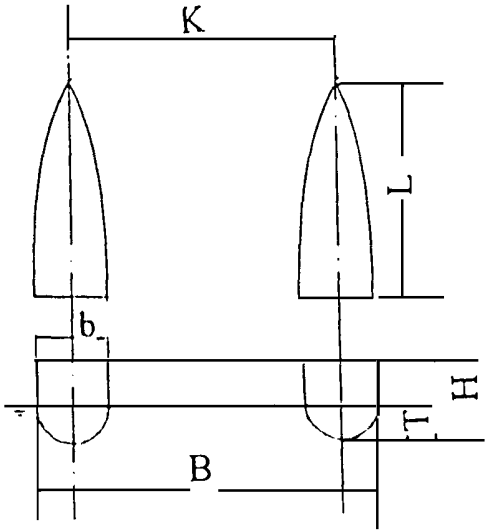


图8 双体船主尺度示意

- L 船长(计算船长或设计水线长)
- B 双体船总宽
- b 片体型宽
- k 片体间距
- H 型深
- T 吃水
- C_p 片体棱形系数
- C_b 片体方形系数
- C_w 片体水线面系数
- Δ 双体船排水体积

根据航速可将双体船划分为:

低速双体船 $F_n < 0.3$ ($V / \sqrt{L} < 1.0$)

中速双体船 $F_n = 0.3 \sim 0.75$ ($V / \sqrt{L} = 1.0 \sim$

2.5)

高速双体船 $F_n > 0.75$ ($V/\overline{L} > 2.5$)

2.1 片体长宽比 L/b 或 $\frac{\Delta}{(\frac{L}{10})^3}$

L/b 是影响双体船片体阻力的主要因素,它具有与单体船一样的规律,对船速较高的双体船,则用排水体积长度 $\frac{\Delta}{(\frac{L}{10})^3}$ 来表达。

(1) 低速双体船 L/b 的变化对波浪阻力影响在总阻力中所占比重小,这时选择双体船 L/b 着眼点放在减少造价和减少湿表面积上,一般取 $L/b = 6 \sim 8$ 。应该指出,尽管低速双体船的阻力性能远不如单体船,造价亦大20%左右,但双体船具有极大甲板面积和极好稳性。作为内河游览船和客船,综合经济性能仍然优于相同排水量的单体船。

(2) 中速双体船 剩余阻力占的比重大于摩擦阻力。尤其在 $F_n = 0.4 \sim 0.6$ 的峰值附近。选择较大船长和努力降低空船重量,可以从剩余阻力角度获得较好经济效益。必须注意,当 $L/b > 15$ 时不论何种航速,它对剩余阻力 C_R 影响程度已开始缓和了,^[11]。而湿表面积和空船重量急剧上升。达到 $L/b = 18$ 时,已失去经济价值,见图9。权衡阻力和重量之间矛盾,取 $L/b = 9 \sim 15$ 。片体宽度 b 要做到满足机舱布置下尽可能狭窄,使片体进水角相当小,前部水线为直线。

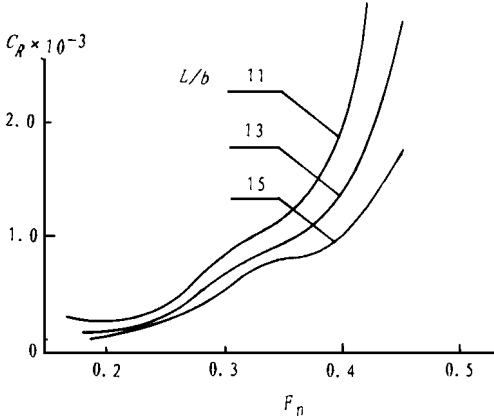


图9 L/b 对双体船剩余阻力系数 C_R 的影响

图10表示: $F_n = 0.32 \sim 0.38$ 范围,双体船具有明显的航速优势^[3]

$F_n > 0.7$ 范围,双体船亦有一定的航速优势^[15]

(3) 高速双体船 随着航速提高,摩擦阻力和剩余阻力又趋于相等,片体干扰阻力占总阻力5~8%,剩余阻力曲线趋于平缓,变化有规律。这时,适

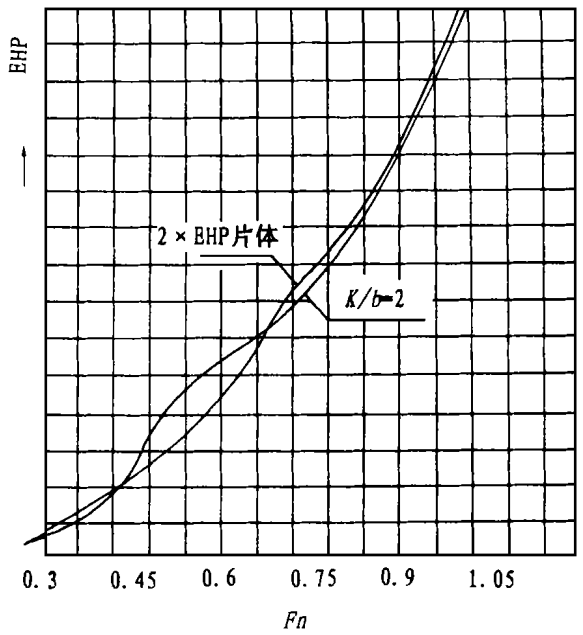
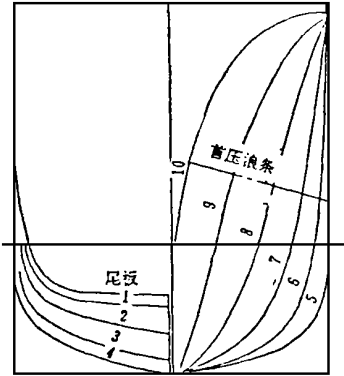


图10 双体船和单体船 (以双体船两个片体阻力之和) 的总阻力比较

当加大片体宽度和减小吃水及船长,以争取较小湿表面积和降低空船重量是恰当的,一般取 $L/b = 8 \sim 12$ 。用排水体积长度系数 $\frac{\Delta}{(\frac{L}{10})^3}$ 反映高速双体船阻力

性能要比 L/b 更确切,因为它既考虑船长因素,又考虑船体的瘦削程度。^[14]

250客高速双体船模拖曳阻力试验证明,排水体积长度系数是影响排水型高速双体船阻力的主要参数。它除了具有与单体船一样的特性外,在 $F_n > 0.7$ 时,出现双体船阻力低于两个片体阻力之和的现象。 $\frac{\Delta}{(\frac{L}{10})^3}$ 越小,这种有利现象出现得越早,效果越明显^[15] (图11)。



250客高速双体船横剖面形状

250客高速双体船主尺度及横剖面形状如下, 而其船模试验资料见图11。

设计水线长	L	30 m
片体型宽	b	2.85 m
设计吃水	T	1.2 m
型排水体积	Δ	102.4 m ³
方形系数	C_b	0.499
舯剖面系数	C_m	0.793
棱形系数	C_p	0.629
水线面系数	C_w	0.785
浮心纵向位置	X_c	- 4.77% L

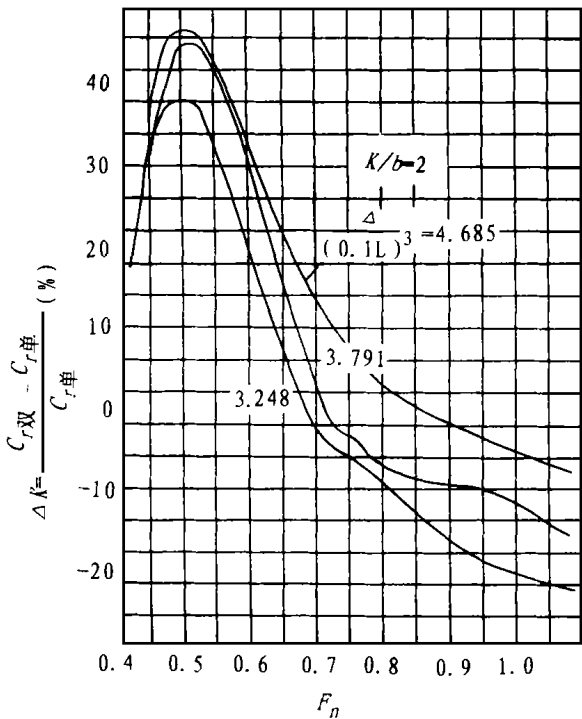


图11 250客高速双体船干扰阻力曲线

2.2 片体间距比 k/b 或 k/L

目前, 采用 k/b 居多, 更直观反映间距影响。

(1) 低速双体船 k/b 对双体船干扰阻力影响不明显, 且无明显规律, k 的选择纯粹以甲板面积总布置要求来决定, 一般取 $k/b > 2$ 。试验表明, 当 $k/b \geq 6$ 时, 片体间干扰阻力不存在。

(2) 中速双体船 k/b 是影响双体干扰阻力最活跃最重要的参数, 为说明问题, 定义双体船干扰阻力系数 ΔC 或 ΔE 。

$$\Delta C = \frac{\text{双体船剩余阻力系数 } C_{r(k/b)} - 1}{\text{片体剩余阻力系数 } C_r}$$

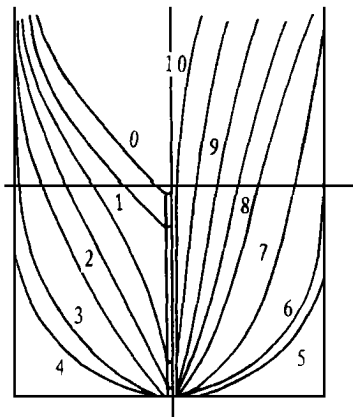
$$\Delta E = \frac{\text{双体船阻力 } R(k/b) - 1}{\text{两个片体阻力 } R}$$

在某一 k/b 下, 当 ΔC 或 $\Delta E < 1$, 表示双体船阻力小于片体阻力值, 称有利干扰。

ΔC 曲线呈“坦谷波形”, 在 $F_n = 0.3 \sim 0.5$ 范围内, 它的阻力峰谷位置随 k/b 减小而上移和向 F_n 大的方向平移, 导致在 $F_n = 0.4 \sim 0.5$ 范围又出现 k/b 减小反而使干扰阻力系数向减小转化。用包络线将干扰阻力曲线的谷底光顺, 表示为最佳片体间距比, 谷底出现在 $F_n = 0.34 \sim 0.4$ 。

图12为沿海乙型双体交通船模型主尺度和横剖线型及试验资料。^[25]

主要尺度		
设计水线长	L_{WL}	52 m
片体宽	b	4.1 m
总宽	B	12 m
设计吃水	T	2.7 m
型深	H	4.5 m
型排水体积	∇	560.9 m ³
型排水量	Δ	574.9 t
片体排水体积	$\frac{1}{2} \nabla$	280.45 m ³
片体长宽比	L/b	12.68
片体宽度吃水比	b/T	1.52
方形系数	C_b	0.487
中剖面系数	C_m	0.832
棱形系数	C_p	0.585
水线面系数	C_w	0.701
湿表面积	S	640 m ²
浮心位置	X_c	- 0.714 m



沿海乙型双体交通船横剖面形状

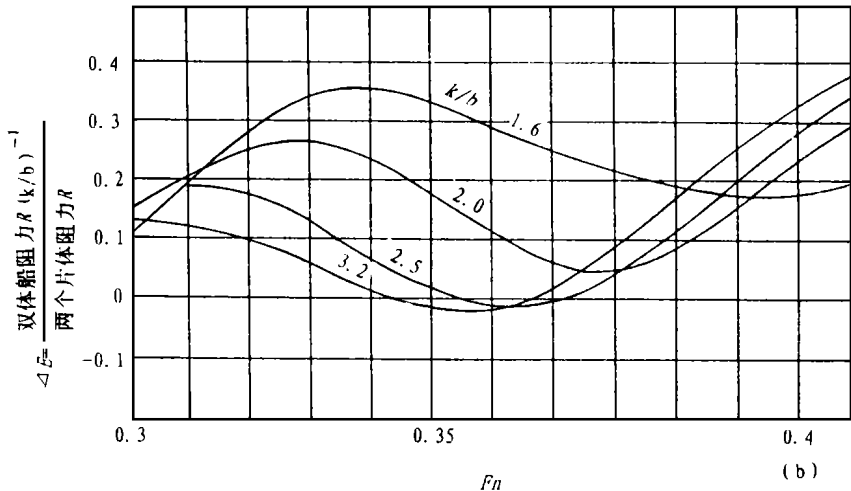
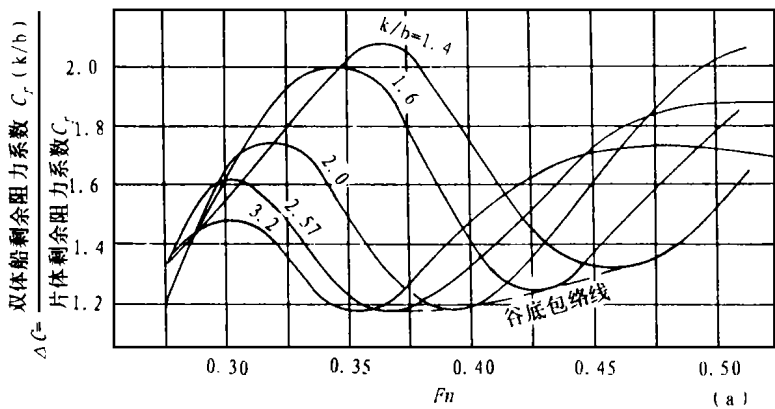


图12 沿海乙型双体交通船干扰阻力曲线

蒋慰昌教授所做的双体船模型试验结果见图13, 由图亦证明了波系干扰的峰谷区^[13]。该图是以 K/L 表示, $(\frac{R_{\text{双}}}{2R} - 1)\%$ 表示干扰阻力值的百分数。

参考文献^[24]为500客双体船舶模试验。该船 b/T 较大, 图14可作为内河双体船选择主尺度的参考。

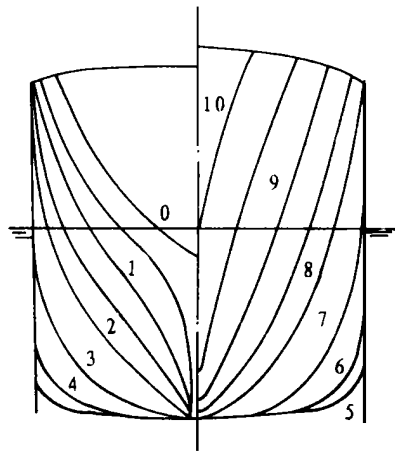
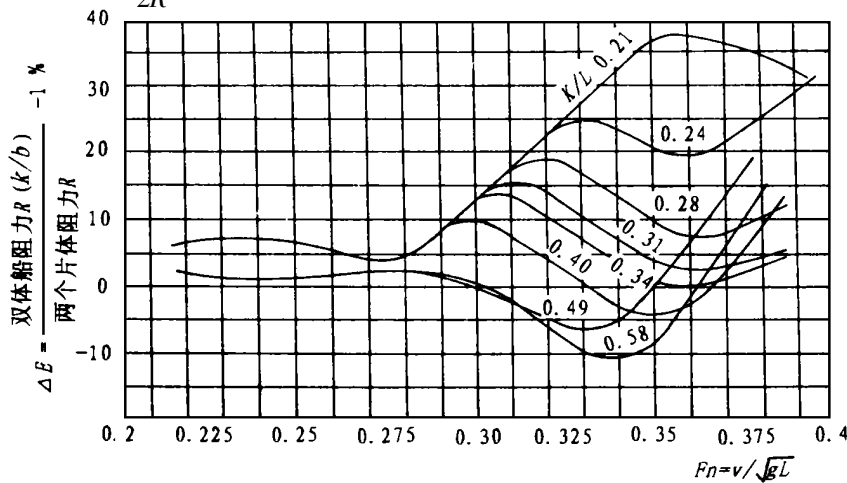


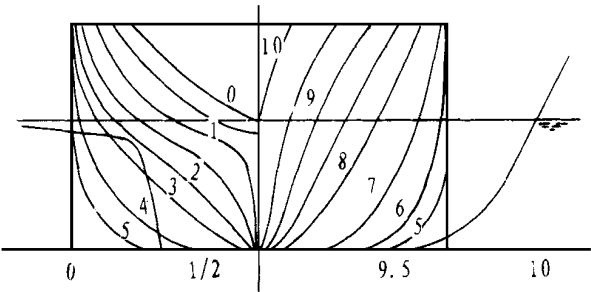
图13 $C_p = 0.645$ 双体船试验资料

(相当佛氏数 $F_n^0 = F_n + \frac{1}{2}(0.645 - C_p)$)

船模主尺度系数及横剖面形状

(船模代号7910)

设计水线长 L 2.3 m
片体型宽 b 0.2857 m
设计吃水 T 0.0929 m
片体排水体积 Δ 0.03191 m³
方形系数 C_b 0.523
棱形系数 C_p 0.564
舢剖面系数 C_m 0.928
水线面系数 C_w 0.714
浮心纵向位置 X_c - 1.65% L
 L/b 8.05



b/T 3.077

$L/\Delta^{1/3}$ (片体) 7.251

船模缩尺比 14

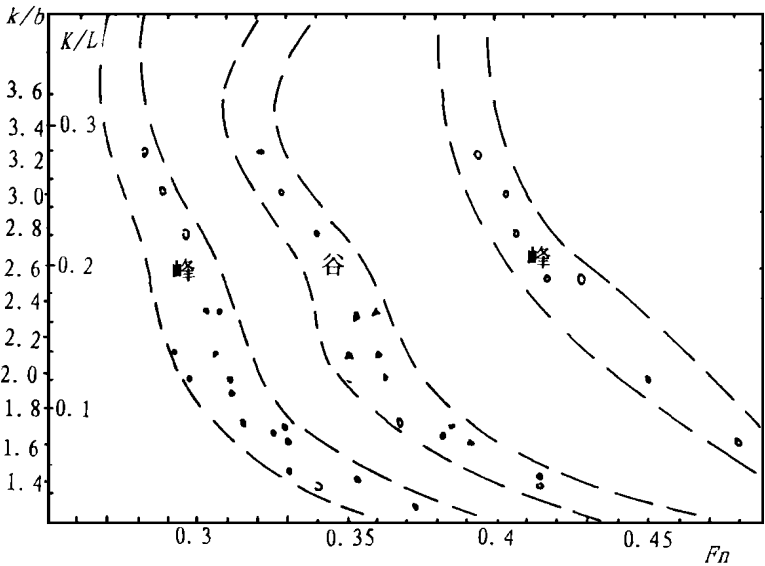


图14 干扰作用的峰谷区域

上述资料都证明:

①在中速范围, K/b 是影响干扰阻力范围最活跃的地方。

②在 K/b , 线型、 F_n 配合恰当, 可得到干扰阻力的谷区, 亦就是可得出最佳 K/b 值。

(3) 高速双体船 K/b 对干扰阻力的影响随航速的增大而逐渐减弱, 干扰阻力在总阻力中仅占5 - 8%。在顾及阻力与连接桥重量下, 一般取 $K/b=2$ 左右。目前, 为获取更大的旅客甲板面积和进一步减小首波, 高速双体船亦趋于 $K/b>2.0$, $L/b>12$ 。

尽管干扰阻力值小, 但在 $F_n=0.74\sim0.9$ 之间, 配以适当的 K/b , C_p 的线型时, 亦会出现一个有利干扰区。^[15]图15为上海船舶设计研究院的双体船试验结果^[16], 图中影印部分是有利干扰区, 是设计者感兴趣的地方。

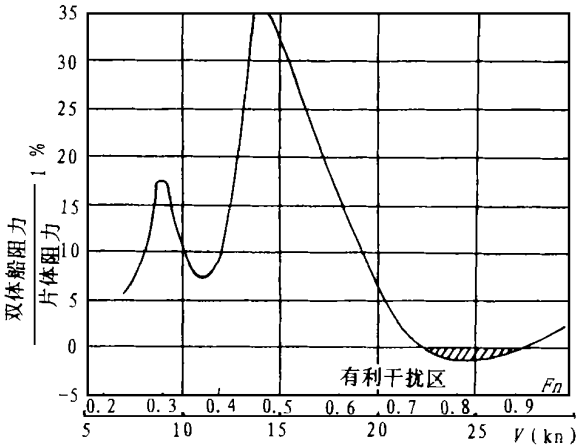


图15 双体船干扰阻力曲线

从理论研究上亦证实了许多船模试验结果的正确性。

亚历山大和培叶从理论上给出某航速下最小兴波阻力所对应的最佳 K/L 值。但按图16来选择船宽, 则双体船宽度很大, 在实船上无法实现。该图向人们揭示了整个航速区域内最佳片体间距的存在和它的变化趋势^[12]。

折角型双体船(包括单折角, 双折角, 深V型, 不对称折角) 船模试验发现了一个有趣的现象, 根据图17的船模试验结果, 在 $F_n = 0.775$ 附近, k/b 变化似乎对双体船干扰阻力不产生影响。 $F_n < 0.775$, k/b 趋大对阻力有利, $F_n > 0.775$, k/b 趋小对阻力有利^{[15][26][28]}。当然, 由于尺度系数和横剖面形状不同, 这个速度点亦有所有变化。从目前已有的船模试验资料统计, 这个变化区域在 $F_n = 0.74 \sim 0.81$ 之间, 还是比较狭窄的。

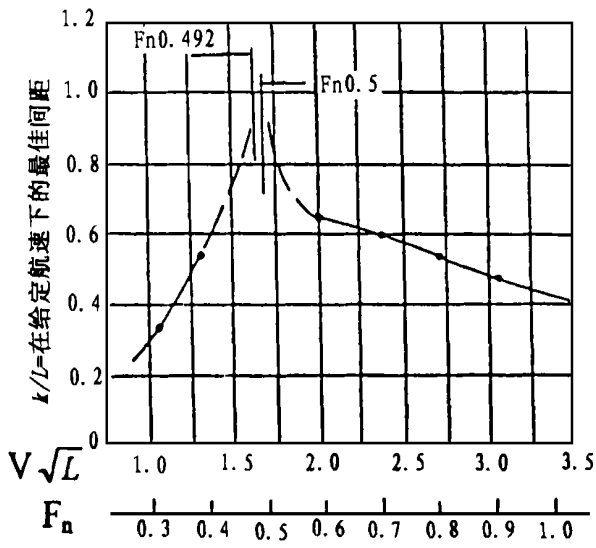


图16 V/\sqrt{L} (F_n) 所对应的最佳 k/L 值

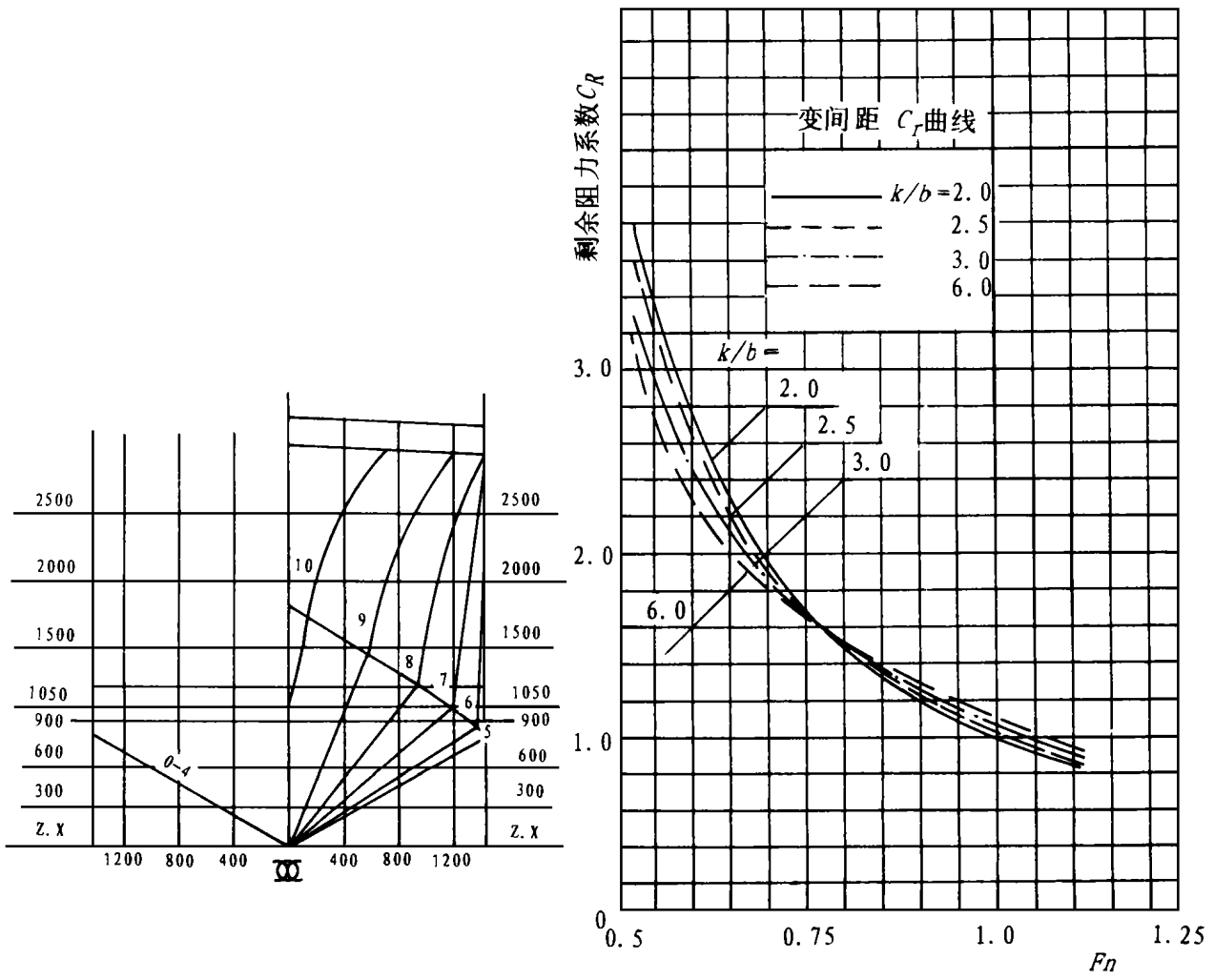


图17 单折角船横剖形状和剩余阻力曲线

双折角线型阻力不如单折角, 因为双折角的船底宽小于单折角情况, 使本来就嫌少的滑行宽度更加突出, 尤其在航速很高情况。

片体设计水线长 L	35 m
水线宽 b	2.85 m
吃水 T	1.05 m
方形系数 C_b	0.471
棱形系数 C_p	0.783
浮心位置 L_{cb}	- 9.821% L
舦剖面底升角	30°
尾板底升角	30°
舦剖面系数 C_m	0.602

2.3 棱形系数 C_p

棱形系数 C_p 是影响双体船片体兴波阻力和干扰阻力的主要参数。在 $F_n > 0.3$ 时, 由于沿船长几乎全部产生兴波作用, 需要排水体积沿船长均匀分布。因此, 棱形系数对片体阻力的影响符合单体船的规律, 航速大者, 棱形系数宜取大。而棱形系数对干扰阻力的影响受到片体间距比 k/b 的牵连。因此, 这种影响就很复杂, 主要表现在 $F_n = 0.3 \sim 0.5$ 范围。

图18为长航设计院的川江区间双体客轮东方红117船模试验比较。

S- 175片体	$C_m = 0.88$	$C_p = 0.614$
S- 176	$C_m = 0.95$	$C_p = 0.569$

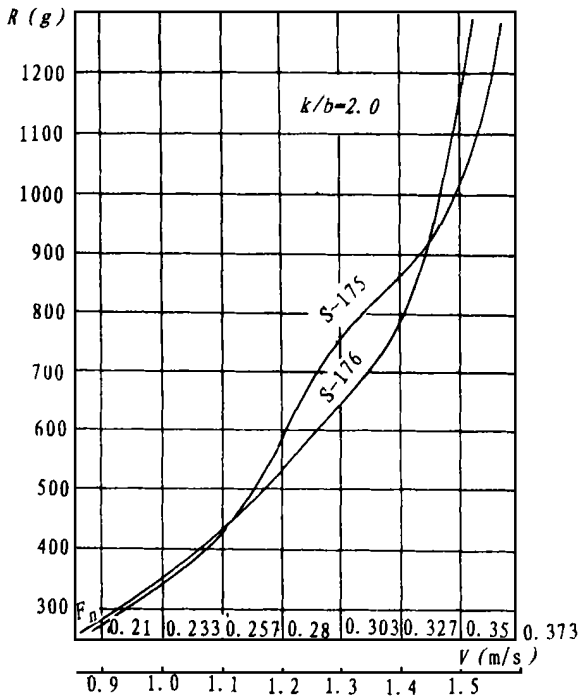


图18 不同 $C_m(C_p)$ 的两船模阻力曲线图

图19为乙型双体交通船船模试验资料。^[25]

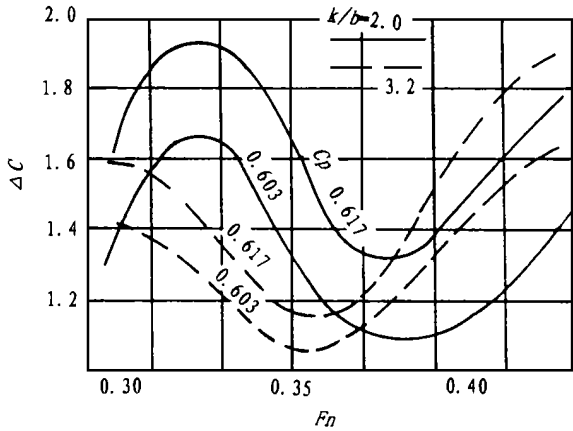


图19 棱形系数 C_p , 佛氏数 F_n 和干扰阻力之间的关系

双体船片体 L/b 较大, 首部尖削, 低速时, 首部水线呈微凸或直线, 高速时, 首部水线为直线。这时, 棱形系数变化范围比较小。

根据《中国造船》发表的 $C_p = 0.646$ 船模资料并用假定的相当 F_n 得出:^[13]

$$\text{当 } 0.25 \leq F_n < 0.3 \text{ 时 } C_p = 2(F_n + 0.0425) \pm 0.02$$

$$\text{当 } 0.3 \leq F_n \leq 0.38 \text{ 时 } C_p = 2(F_n - 0.0375) \pm 0.02$$

亦可以参考[14]的资料(图20)。

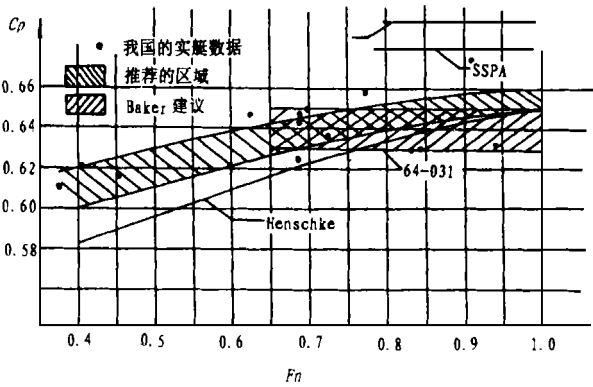


图20 圆舦快艇高速区 C_p 参考图

2.4 浮心纵向位置 X_c

浮心位置对双体船阻力影响与单体船相似, 随航速的增加, X_c 应向舦后移动。由于双体船的机舦一般都在舦偏后, 甚至是尾机布置, 尤其是高速双体船。因此, 从阻力角度选择最佳浮心位置时, 还要顾及总布置的要求, 防止尾机型双体船的尾纵倾。资料[14]的图21可供参考。

在双体船有利的航速范围内, 一般取在舦后1 ~

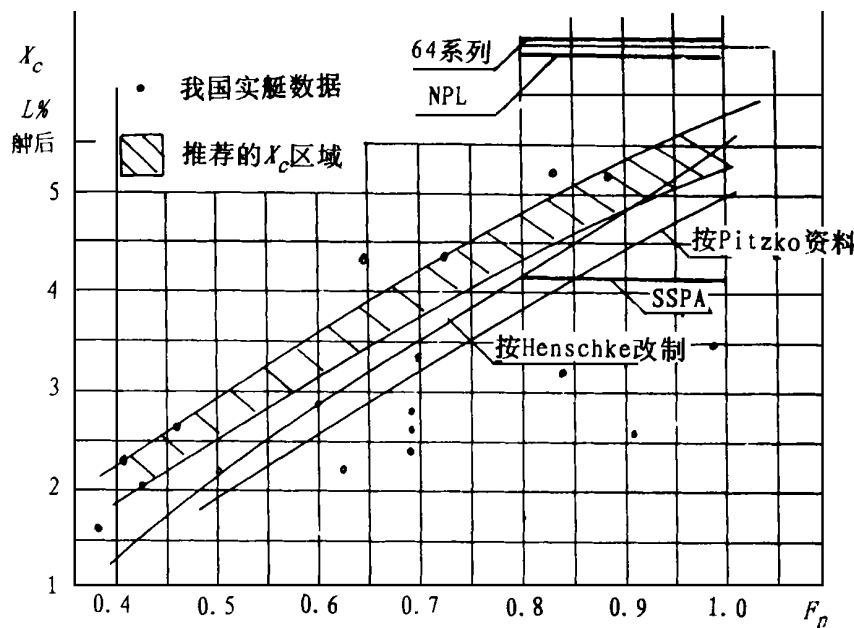


图21 最佳浮心位置参考图

2.5 片体宽度吃水比 b/T

双体船 b/T 对阻力的影响主要表现在片体摩擦阻力上。与普通单体船一样,减少片体宽度 b 和增大吃水,对减少摩擦阻力是有利的,但有两种情况除外。对受航速限制的内河双体船, b/T 偏大要配合螺旋桨布置;对要求尾部具有一定升力的高速双体船, b/T 稍偏大,使双体船具有较佳的航行纵倾角,对减少兴波阻力是有利的。

2.6 水线面系数 C_w

单体船的水线面系数对提高形状稳性力臂和高速时提供尾部升力有较大影响。而双体船对形状稳性力臂的影响已微不足道,对提供尾部升力

的影响将随船速提高而明显起来。要求尾板水线面宽度极为重要,这个影响具有高速单体船的性质。

2.7 型深 H

双体船片体瘦削,升沉和纵摇均比单体船大,为防止和减缓波浪对连接桥的迫击,必须提高连接桥距水面高度,并将连接桥首端向后移,或者在连接桥前端做成具有 $12^\circ \sim 15^\circ$ 倾角。桥的首部横剖面为单三角形或双三角形(见图22),它在高速双体船上对减缓连接桥迫击很有效。

中国船舶及海洋工程设计研究院曾对此进行耐波性试验^[29],证实了这种型式的有效作用,船模横剖面及试验结果见表5和图23。

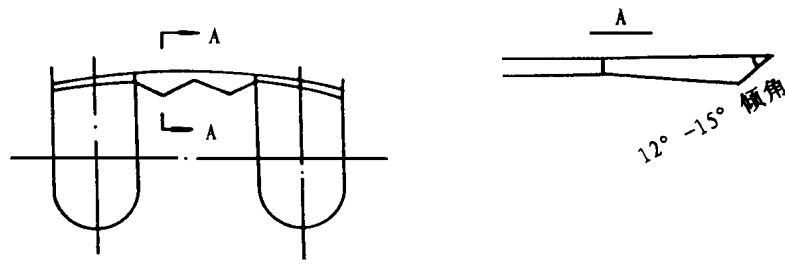


图22 连接桥首部形状

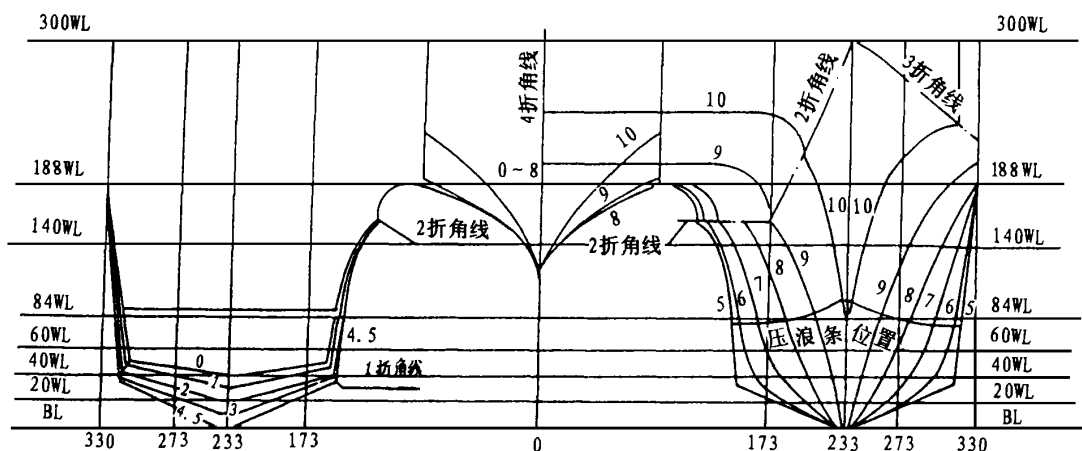


图23 高速双体船耐波性试验模型

表5 桥体首部具有三角体的运动比较
(中体指纵中剖面上的三角体)

$L/\lambda = 1.2$ $F_n = 0.865$		不带中体 (三角体)	带中体	下降 百分数
	$aL/g\xi$	36	26	27%
$L/\lambda = 1.5$ $F_n = 0.865$	Z/ξ	0.3	0.2	33%
	$\Delta R/\rho g(B^2/L \times \xi^2)$	5.0	4.0	20%
	$\Theta/k \cdot \xi$	0.25	0.18	28%
	$aL/g\xi$	53	35	34%
$L/\lambda = 1.5$ $F_n = 0.865$	Z/ξ	0.7	0.6	14.3%
	$\Delta R/\rho g(B^2/L \times \xi^2)$	6.2	5.2	16%
	$\Theta/k \cdot \xi$	0.5	0.42	16%

表中符号: L 船长 (m)
 B 船宽 (m)
 a 首部加速度
 Z 升沉 (m)
 ΔR 阻力增量 (kg)
 Q 纵摇 (弧度)
 $k = 2\pi/\lambda$
 λ 波长 (m)
 ρ 海水密度 ($\text{kg/s}^2/\text{m}^4$)

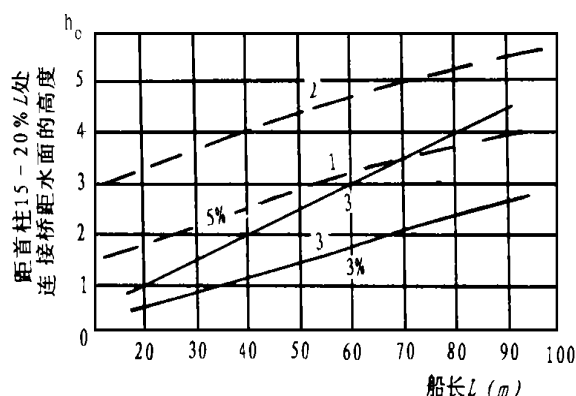


图24 连接桥距水面高度

注: 1. 最小许可值
 2. 希望值
 3. 目前实船统计值 (3~5)% L

(m)

当 $L/\lambda = 1.5$ 时, 取 $\omega = 0$, 在船舫处 $\frac{2x}{L}\varphi = 0$

则船舫处连接桥距水面高度 $h_c = \frac{1}{2}h_B$

型深 $H = T + h_c + h_M - h_T$

h_M —连接桥横梁最大高度

h_T —双体船梁拱

2.8 尾板浸水面积 A_0

主要引起片体阻力的变化, 而对于干扰阻力影响很小。低速双体船, A_0 趋于零值。当 $F_n > 0.4$ 时, 尾板才开始明显影响阻力。随着航速提高, 要求尾板浸水面积也相应增加, 这点具有单体船的性质。尤其对高速双体船, 沿船长只有半个波, 在尾柱处呈波谷。这时片体尾板水线半宽加大, 具有足够的尾板浸水面积, 发挥所谓“虚长度”的作用, 给尾部以足够升力,

资料[27]中绘出了连接桥距水面的高度, 见图24。

资料[18]列出了计算公式。

连接桥距水面高度

$$h_c = \frac{1}{2}h_B + \omega + \frac{2x}{L}\varphi$$

式中: h_B —波浪高度 (m), 可取 $1/3$ 有义波高

ω —升沉幅度 (m)

φ —纵倾角 (弧度)

x —从船舫到连接桥某处沿船长方向的距离

减少高速时的尾纵倾, 帮助进入半滑行状态。因此, 对 $F_n > 0.4$ 的双体船不论是圆艏线型还是折角线

型, 必须重视尾板浸水面积的选择, 资料[14] 中图25 可供参考。

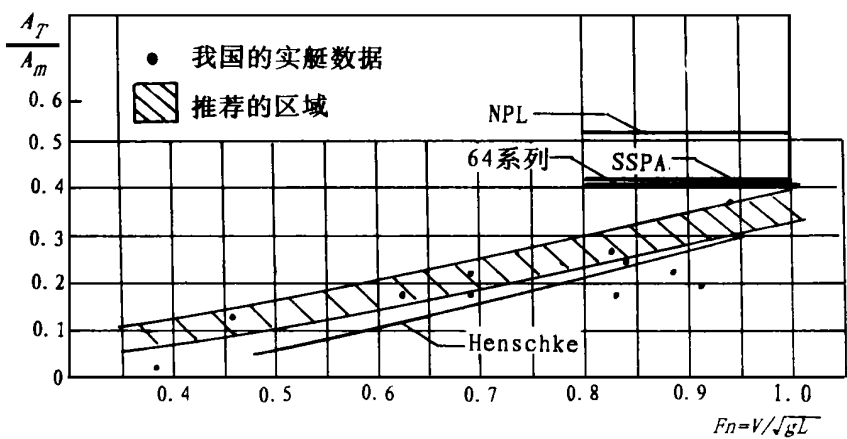


图25 艏板浸湿面积比参考图
 A_T 尾板浸湿面积 (m^2); A_m 舦剖面积 (m^2)

2.9 螺旋桨

双体船片体的伴流系数比双桨的单体船大, 推力减额相同。但由于伴流系数大使螺旋桨相对进速减少, 在给定情况下, 螺旋桨散水效率要降低, 因此反映螺旋桨总推进效率上与单体船是相同的。

在双体船螺旋桨设计时, 其参数应按单桨单体船的螺旋桨选取。

高速双体船最好采用喷水推进。
随着航速提高, 喷水推进将优于螺旋桨推进。因为喷水推进解决高速和大功率下螺旋桨的空泡问题; 喷水推进轴解决螺旋桨轴的大倾斜角问题; 喷水推进泵要求尾板的浸深有利于高速滑行; 喷水推进

允许减少吃水增大船宽有利于减小湿表面积, 有利于滑行; 喷水推进泵可节省舵和支架等附体阻力。在方案估算航速时, 喷水推进总效率可取50%。

2.10 片体湿表面积

粗略估算

$S = L(C_1 T + C_2 C_b b)$

系数 $C_1 = 1.53$

$C_2 = 1.08$ 适用海上双体船和高速双体船

$C_1 = 1.36$

$C_2 = 1.13$ 适用于内河双体船

(待续)

欧洲的集装箱市场与集散船动向

据世界著名的英国远洋航运咨询机构 OSC 对2000年前欧洲集装箱市场的调查预测, 2000年欧洲各港口的集装箱吞吐量及欧洲区域内的集装箱货运量将随着集散贸易的兴旺而扩大为现在的2倍, 并且各航线上的投入船舶 (包括集散船) 都将趋向大型化。

OSC 预测, 欧洲各港的集装箱吞吐量将从1996年的3 600万 TEU, 增至2000年的5 300万 TEU, 2008年时可达7 520万 TEU。其主要受益于日趋活跃的集散贸易, 而集散贸易量将从1996年的830万 TEU 提高到2008年的2 000万 TEU。受其影响, 欧洲的集装箱市场也大幅扩容。欧洲区域内的集装箱贸易与外航贸易也将成倍增长, 分别由790万 TEU 增加到1 500万 TEU 和2 000万 TEU 增加到4 00万 TEU。

估计今后10年内集装箱船将进一步趋向大型化, 看来规模效益还是首选考虑的因素。可望出现的8 000TEU 超大型

集装箱船, 到2000年时完工, 届时将投入欧洲/ 亚洲航线。而在欧洲/ 亚洲 航线以外的远洋航线上将投入的集装箱船将是2 000 ~ 3 000TEU 型, 集散船也将从现在的600TEU 型迈向1 200 ~ 1 500TEU 型。

今后, 大型化集装箱船的经营者们恐怕会减少中途港, 考虑集中在几个港口装卸, 各航运公司将会使用泊位优先权, 每船的装卸至少需3台门式吊车, 这可能更有利于集散船的发展。

另外, 欧洲区域内各港间的竞争也将日趋激烈, 不仅要求各码头提供24 h、每周7天的服务体制, 为了加强竞争力, 联合运输联络网正愈益成为重要的决定性因素。同时, 为提高竞争力, 港口各种设施将进行扩充, 然而最重要的还是怎样缩短集装箱的滞港时间。

[徐菊英]